

(19)日本特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-218385

(P2003-218385A)

(43)公開日 平成15年7月31日(2003.7.31)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-7J-ト*(参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

Λ 5 F 0 4 1

31/10

31/10

Λ 5 F 0 4 9

審査請求 有 請求項の数25 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2002-114452(P2002-114452)

(22)出願日 平成14年4月17日(2002.4.17)

(31)優先権主張番号 2 0 0 2 - 1 4 3 1

(32)優先日 平成14年1月10日(2002.1.10)

(33)優先権主張国 韓国 (K R)

(71)出願人 390019839

三星電子株式会社

大韓民国京畿道水原市八達区梅庭洞416

(72)発明者 崔 ▲ピョング▼ 龍

大韓民国ソウル市瑞草区方背3洞593-94

番地新誠ビルG a 棟103号

(72)発明者 南 昇 浩

大韓民国京畿道城南市盆唐区野塔洞536番

地塔マウル鮮京アパート111棟704号

(74)代理人 100094145

弁理士 小野 由己男 (外1名)

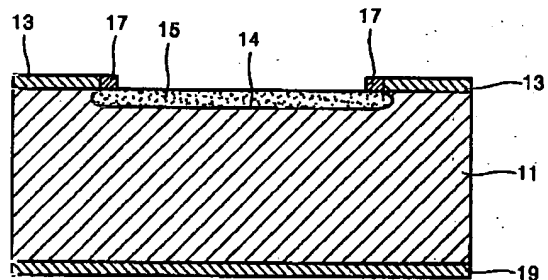
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 シリコン光素子及びこれを適用した発光デバイス装置

(57)【要約】

【課題】 シリコン光素子及びこれを適用した発光デバイス装置を提供する。

【解決手段】 n型またはp型のシリコンに基づく基板11と、基板11の一面に形成されて基板11とのp-n接合部位で量子拘束効果により光電変換効果を発揮するように所定のドーパ剤により基板と反対型に極端に浅く形成されたドーピング領域15と、ドーピング領域15に電気的に連結可能に基板に形成された第1及び第2電極17、19とを含むことを特徴とする。基板の一面にはドーピング領域形成時マスクとしての機能をし、ドーピング領域を極端に浅く形成させる制御膜13をさらに具備することが望ましい。これにより、効率が良く、発光素子及び受光素子のうち少なくとも何れか1つの素子として使用でき、かつシリコンに基づくためにコストダウンとなる。



【特許請求の範囲】

- 【請求項1】 n型またはp型のシリコンに基づく基板と、
前記基板の一面に形成され、前記基板とのp-n接合部位で量子拘束効果により光電変換効果を発揮するように所定のドーパ剤により前記基板と反対型で極端に浅くドーピングされたドーピング領域と、
前記ドーピング領域に電気的に連結可能に前記基板に形成された第1及び第2電極とを含む、請求項1に記載のシリコン光素子。
- 【請求項2】 前記基板の一面には前記ドーピング領域形成時にマスクとして機能を行い、前記ドーピング領域を極端に浅く形成する制御膜をさらに備える、請求項1に記載のシリコン光素子。
- 【請求項3】 前記制御膜は前記ドーピング領域が極端に浅く形成されるように適正の厚さを有するシリコン酸化膜である、請求項2に記載のシリコン光素子。
- 【請求項4】 前記ドーピング領域は前記ドーパ剤の非平衡拡散により形成される、請求項1ないし3のうち何れか1項に記載のシリコン光素子。
- 【請求項5】 前記ドーパ剤はホウ素及び磷のうち何れか1つを含む、請求項4に記載のシリコン光素子。
- 【請求項6】 前記ドーパ剤はホウ素及び磷のうち何れか1つを含む、請求項1に記載のシリコン光素子。
- 【請求項7】 前記ドーピング領域の前記基板とのp-n接合部位には電子と正孔対の生成及び消滅結合が起こる量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つが形成される、請求項1ないし3のうち何れか1項に記載のシリコン光素子。
- 【請求項8】 前記第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板とのp-n接合部位の量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つでは電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、発光素子として使用する、請求項7に記載のシリコン光素子。
- 【請求項9】 前記ドーピング領域に複数の微細なホールをさらに備え、発光された光の出力効率を向上させる、請求項8に記載のシリコン光素子。
- 【請求項10】 前記ホールは前記p-n接合部位の光が発光される領域の下部まで延びている、請求項9に記載のシリコン光素子。
- 【請求項11】 前記ホールは、特定の発光波長を λ とすれば、 $\lambda/(2n)$ の整数倍の大きさよりなる、請求項9に記載のシリコン光素子。
- 【請求項12】 前記ホールは発光波長を吸収しない物質より充填された、請求項9に記載のシリコン光素子。
- 【請求項13】 前記ホールは空気より充填される、請求項9に記載の光素子。
- 【請求項14】 前記ドーピング領域に入射される光をそ

のp-n接合部位の量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つから吸収して電子-正孔対を生成し、受光素子として使用する、請求項7に記載のシリコン光素子。

【請求項15】 紫外線検出として使用可能に、前記量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つのサブエネルギーバンド間のエネルギーの差が十分に大きい、請求項14に記載のシリコン光素子。

【請求項16】 波長が150nm以下の紫外線領域まで検出可能になった、請求項15に記載のシリコン光素子。

【請求項17】 前記第1電極は前記ドーピング領域が形成された前記基板の一面に形成され、前記第2電極は前記基板の反対面に形成された、請求項15に記載のシリコン光素子。

【請求項18】 前記第1及び第2電極は前記ドーピング領域に電気的に接続可能に前記基板の一面に形成された、請求項15に記載のシリコン光素子。

【請求項19】 前記基板は、Si、SiC及びダイヤモンドのうち何れか1つよりなる、請求項1に記載のシリコン光素子。

【請求項20】 発光素子として機能をする少なくとも1つ以上のシリコン光素子を備え、
前記シリコン光素子は、

n型またはp型のシリコンに基づく基板と、
前記基板の一面に形成され、前記基板とのp-n接合部位で量子拘束効果により光電変換効果を示すように所定のドーパ剤により前記基板と反対型で極端に浅くドーピングされたドーピング領域と、
前記ドーピング領域に電気的に連結可能に前記基板に形成された第1及び第2電極とを含む、発光デバイス装置。

【請求項21】 前記シリコン光素子基板の一面には、前記ドーピング領域の形成時にマスクとして機能を行い、前記ドーピング領域を極端に浅く形成する制御膜をさらに備える、請求項20に記載の発光デバイス装置。

【請求項22】 前記シリコン光素子は、前記第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板とのp-n接合部位で電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、多数のシリコン光素子が2次元配列で形成され、ディスプレイシステムとして使われる、請求項20または21に記載の発光デバイス装置。

【請求項23】 前記シリコン光素子の2次元配列は相異なる色光を出射する3つのシリコン光素子が各画素に対応するように形成されてなる、請求項22に記載の発光デバイス装置。

【請求項24】 前記シリコン光素子は白色光を出射し、前記シリコン光素子の2次元配列の前面に波長選択カラーフィルターを備える、請求項22に記載の発光デバイス装置。

イス装置。

【請求項25】前記シリコン光素子は、前記第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板とのp-n接合部位で電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、前記シリコン光素子を少なくとも1つ以上備え、照明システムとして使われる、請求項20または21に記載の発光デバイス装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はシリコン光素子に係り、特に安価及び高効率を達成できるシリコン光素子及びこれを適用した発光デバイス装置に関する。

【0002】

【従来の技術】シリコン半導体基板には論理素子、演算素子及びドライブ素子などを高い信頼性で高集積化でき、シリコンが安いために化合物半導体に比べてより安価で、高集積回路を実現しうる利点がある。したがって、大部分の集積回路はシリコン(Si)を基本材料として使用している。

【0003】前記のようなシリコンが有する利点を十分に生かし、集積回路との製造工程上の互換性ある安価の光電子デバイスを具現するためにシリコンに基づいた発光素子を作ろうとする研究が進行しつつある。多孔性シリコン及びナノクリスタルシリコンは発光特性を有するのが実験的に確認され、これに関する研究が進行されている。

【0004】図1はバルク型の単結晶シリコンの表面に形成された多孔性シリコン領域の断面及びその多孔性シリコン領域での価電子帯(valence band)と伝導帯(conduction band)との間のエネルギーバンドギャップを示す図面である。多孔性シリコンは、バルク型の単結晶Siを、例えば、フッ酸(HF)が含まれた電解質溶液に入れ、そのバルク型Siの表面を電気化学的に陽極処理(anodic electrochemical dissolution)することによって製造される。

【0005】バルク型シリコンをHF溶液に入れたまま陽極処理を行う時、そのバルク型シリコンの表面側には図1に示されたように、多数の孔1aを有する多孔性シリコン領域1が形成される。前記孔1a部分には膨出部(HFにより融解されない部分)1bに比べてSi-H結合がより多く存在する。多孔性シリコン領域1での価電子帯エネルギーE_vと伝導帯エネルギーE_cとのエネルギーバンドギャップは多孔性シリコン領域1の形状と反対に現れる。

【0006】したがって、エネルギーバンドギャップ図面で膨出部に取囲まれた窪み(多孔性シリコン領域1、図面では孔1aに取囲まれた膨出部1b)は量子拘束効果(quantum confinement effect)を示してバルク型シリコンのエネルギーバンドギ

ャップより大きくなり、この部分に電子とホールとがトラップされて発光結合を行う。

【0007】例えば、多孔性シリコン領域1で、孔1aに取囲まれた膨出部1bを量子拘束効果を示す単結晶シリコンワイヤー状に形成すれば、電子とホールとはこのワイヤーにトラップされて発光結合をし、ワイヤーの大きさ(幅と長さ)によって発光波長は近赤外線から青色波長まで可能である。この際、孔1aの周期は図1に示したように、例えば約5nm、多孔性シリコン領域の最大厚さは、例えば約3nmである。

【0008】したがって、多孔性シリコンに基づく発光素子を製造し、多孔性シリコン領域1が形成された単結晶シリコンに所定の電圧を印加すれば、多孔性特性によって所望の波長領域の光を発光させうる。しかし、前述したような多孔性シリコンに基づいた発光素子は、まだ発光素子としての信頼性が確保されておらず、外部量子効率(EQE: External Quantum Efficiency)が約0.1%と低い問題点がある。

【0009】図2はナノクリスタルシリコンを用いた発光素子の一例を概略的に示す断面図である。図面を参照すれば、ナノクリスタルシリコンを用いた発光素子は、p型単結晶シリコン基板2と、前記基板2上に形成された非晶質シリコン層3と、前記非晶質シリコン層3上に形成された絶縁膜5と、前記基板2の下面及び前記絶縁膜5上に各々形成された下部、上部電極6、7を含む層構造を有し、前記非晶質シリコン層3内に形成された量子点状のナノクリスタルシリコン4とを具備する。

【0010】前記非晶質シリコン層3を酸素雰囲気下で700℃に急昇温させて再結晶化させれば、量子点状のナノクリスタルシリコン4が形成される。この際、前記非晶質シリコン層3の厚さは3nmで、ナノクリスタルシリコン4の大きさは約2〜3nmである。前述したようなナノクリスタルシリコン4を用いた発光素子は前記上下部電極7、6を通じて逆方向に電圧をかければ、シリコン基板2とナノクリスタルシリコン4との間の非晶質シリコンの両端に大きな電界が生じて高エネルギー状態の電子と正孔が生成され、これらがナノクリスタルシリコン4内にトンネリングされて発光結合を行う。この際、ナノクリスタルシリコンを用いた発光素子において発光波長はナノクリスタルシリコン量子点の大きさが小さいほど短くなる。

【0011】このようなナノクリスタルシリコン4を用いた発光素子は、ナノクリスタルシリコン量子点の大きさ制御及び均一性を確保しにくく、効率が極めて低い。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明は前記問題点を勘案して案出されたものであって、多孔性シリコン及びナノクリスタルシリコンを用いた発光素子より効率に優れるだけでなく、発光素子及び受光素子のうち何れか1つの素子として使用でき、安価の新たなシリコン光素子

及びこれを適用した発光デバイス装置を提供するのにその目的がある。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するための本発明に係るシリコン光素子は、 n 型または p 型のシリコンに基づく基板と、前記基板の一面に形成され、前記基板との $p-n$ 接合部位で量子拘束効果により光電変換効果を発揮するように所定のドーパ剤により前記基板と反対型で極端に浅くドーピングされたドーピング領域と、前記ドーピング領域に電氣的に連結可能に前記基板に形成された第1及び第2電極とを含む。

【0014】前記基板の一面には前記ドーピング領域形成時にマスクとして機能を行い、前記ドーピング領域を極端に浅く形成する制御膜をさらに備えることが望ましい。前記制御膜は前記ドーピング領域が極端に浅く形成されるように適正の厚さを有するシリコン酸化膜であることが望ましい。前記ドーピング領域は前記ドーパ剤の非平衡拡散により形成されうる。

【0015】前記ドーパ剤はホウ素及び燐のうち何れか1つを含む。前記ドーピング領域の前記基板との $p-n$ 接合部位には電子と正孔対の生成及び消滅結合が起こる量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つが形成される。本発明によるシリコン光素子は、前記第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板との $p-n$ 接合部位の量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つでは電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、発光素子として使用できる。

【0016】この際、前記ドーピング領域に複数の微細なホールをさらに備え、発光された光の出力効率を向上させることが望ましい。前記ホールは前記 $p-n$ 接合部位の光が発光される領域の下部まで延びていることが望ましい。この際、前記ホールは、特定の発光波長を λ 、前記ホール内での媒質の屈折率を n とすれば、 $\lambda/2n$ の整数倍の大きさよりなることが望ましい。

【0017】本発明によるシリコン光素子は、前記ドーピング領域に入射される光をその $p-n$ 接合部位の量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つから吸収して電子-正孔対を生成し、受光素子として使用できる。ここで、本発明によるシリコン光素子は、紫外線検出として使用可能に、前記量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つ内のサブエネルギーバンド間のエネルギーの差が十分に大きくなったことが望ましい。

【0018】特に、波長が150nm以下の紫外線領域まで検出可能になったことが望ましい。一方、前記第1電極は前記ドーピング領域が形成された前記基板の一面に形成され、前記第2電極は前記基板の反対面に形成されうる。前記第1及び第2電極は、前記ドーピング領域に電氣的に接続可能に前記基板の一面に形成されうる。

【0019】前記基板は、 Si 、 SiC 及びダイヤモンドのうち何れか1つよりなる。前記目的を達成するための本発明に係る発光デバイス装置は、発光素子として機能をする少なくとも1つ以上のシリコン光素子を備え、前記シリコン光素子は、 n 型または p 型のシリコンに基づく基板と、前記基板の一面に形成され、前記基板との $p-n$ 接合部位で量子拘束効果により光電変換効果を示すように所定のドーパ剤により前記基板と反対型で極端に浅くドーピングされたドーピング領域と、前記ドーピング領域に電氣的に連結可能に前記基板に形成された第1及び第2電極とを含む。

【0020】この際、前記シリコン光素子基板の一面には、前記ドーピング領域の形成時にマスクとして機能を行い、前記ドーピング領域を極端に浅く形成する制御膜をさらに備えることが望ましい。前記シリコン光素子は、前記第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板との $p-n$ 接合部位で電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、多数のシリコン光素子が2次元配列で形成され、ディスプレイシステムとして使われることが望ましい。

【0021】本発明に係る発光デバイス装置において、前記シリコン光素子の2次元配列は相異なる色光を出射する3つのシリコン光素子が各画素に対応するように形成されてなりうる。本発明に係る発光デバイス装置において、前記シリコン光素子は白色光を出射し、前記シリコン光素子の2次元配列の前面に波長選択カラーフィルターを備えられる。

【0022】一方、本発明に係る発光デバイス装置は、前記シリコン光素子の第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、前記ドーピング領域の前記基板との $p-n$ 接合部位で電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、前記シリコン光素子を少なくとも1つ以上備え、照明システムとしても使える。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、添付した図面に基づき本発明を詳しく説明する。図3を参照すれば、本発明に係るシリコン光素子は、基板11と、前記基板11の一面に形成されたドーピング領域15と、前記ドーピング領域15に電氣的に接続可能に前記基板11に形成された第1及び第2電極17、19とを含んで構成される。また、本発明に係るシリコン光素子は前記ドーピング領域15の形成時にマスクとして機能し、またドーピング領域15を所望通り極端に浅く形成させる制御膜13を前記基板11の一面にさらに備えることが望ましい。この制御膜13は前記ドーピング領域15を形成した後、選択的に除去されうる。

【0024】前記基板11は Si を含む所定の半導体物質、例えば、 Si 、 SiC またはダイヤモンドよりなり、 n 型ドーピングされている。前記ドーピング領域15は所定のドーパ剤、例えば、ホウ素または燐を前記制

御膜13の開口を通じて前記基板11内に非平衡拡散工程により注入させ、前記基板11と反対型、例えば、p⁺型ドーピングされた領域である。

【0025】ドーピング時、前記ドーピング領域15の前記基板11との境界部、すなわち、p-n接合部位14に量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つが形成されて量子拘束効果による光電変換効果を発揮するように、前記ドーピング領域15は所望通り極端に浅くドーピングされたことが望ましい。ここで、前記p-n接合部位14には主に量子ウェルが形成され、量子点や量子線も形成されうる。また、前記p-n接合部位14には前記量子ウェル、量子点、量子線のうち2種以上が複合形成されることもある。以下、表現の便宜上、前記p-n接合部位14に量子ウェルが形成されたとして説明する。以下、p-n接合部位14に量子ウェルが形成されたとして説明しても、これは量子ウェル、量子点及び量子線のうち少なくとも何れか1つであると見なされる。

【0026】図4Aはドーピング領域15を非平衡拡散により極端に浅く形成する時のp-n接合部位14の構造を示す。図4Bは非平衡拡散により図4Aに示されたp-n接合部位14に表面の長手方向、側方向に形成される量子ウェルQWのエネルギーバンドを示す。図4Bにおいて、 E_c は伝導帯エネルギー準位、 E_v は価電子帯エネルギー準位、 E_f はフェルミエネルギー準位を各々示すが、このようなエネルギー準位については半導体関連技術分野ではよく知られているので、その詳細な説明は略す。

【0027】図4A及び図4Bに示されたように、p-n接合部位14は他のドーピング層が交互に形成された量子ウェル構造を有するが、ウェルとバリアーとは約2、3nmである。このようにp-n接合部位14に量子ウェルを形成する極端に浅いドーピングは前記制御膜13の厚さ及び拡散工程条件などを最適に制御することによって形成されうる。

【0028】拡散工程のうち適正な拡散温度及び基板11表面の変形されたポテンシャルにより拡散プロファイルの厚さが、例えば、10-20nmに調節され、このように極端に浅い拡散プロファイルには量子ウェルが生成される。ここで、基板11表面は初期制御膜の厚さと表面前処理により変形され、このような変形は工程の進行につれて深化される。

【0029】前記制御膜13はドーピング領域15を極端に浅く形成させる適正厚さを有する SiO_2 であることが望ましい。この制御膜13は、例えば、基板11の一面上に SiO_2 を形成した後、拡散工程のための開口部分をフォトリソグラフィ工程を用いてエッチングすることによってマスク構造で形成される。拡散技術分野で知られたところによれば、シリコン酸化膜の厚さが適正厚さ(数千Å)より厚いか、または低温であれば、主

に空席が拡散に影響を与えて拡散が深く起こり、シリコン酸化膜の厚さが適正厚さより薄いか、または高温であれば、 Si 自己間隙が主に拡散に影響を与えて拡散が深く起こる。したがって、シリコン酸化膜を Si 自己間隙及び空席が類似した割合で生じる適正厚さに形成すれば、 Si 自己間隙と空席とが相互結合されてドーパ剤の拡散を促進しなくなるので、極端に浅いドーピングが可能となる。ここで、空席及び自己間隙と関連した物理的な性質は拡散と関連した技術分野ではよく知られているので、より詳細な説明は略す。

【0030】ここで、前記基板11はp型ドーピングされ、前記ドーピング領域15はn⁺型ドーピングされうる。前記第1電極17はドーピング領域15が形成された基板11の一面上に形成され、前記第2電極19は前記基板11の底面に形成される。図3は前記第1電極17を、不透明金属材料でドーピング領域15の外側一部分にコンタクトされるように形成した例を示す。前記第1電極17はITO(Indium Tin Oxide)のような透明電極材質を使用してドーピング領域15上に全体的に形成されうる。

【0031】前述したような本発明に係るシリコン光素子は前記ドーピング領域15の基板11とのp-n接合部位14に電子と正孔対の生成及び消滅結合が起こる量子ウェルが形成されているので、発光素子または受光素子として使用されうる。例えば、前記第1電極17と第2電極19とを通じてDC電圧(または電流)が加えられると、キャリア、すなわち、電子と正孔とが前記p-n接合部位14の量子ウェルに注入され、量子ウェル内の副エネルギーレベルを通じて再結合(消滅結合)される。この際、キャリアが結合される状態によって多様な波長の電場発光(electroluminescence: EL)が生じる。

【0032】本発明に係るシリコン光素子が発光素子として使われる時、ELの強度は、図5に示されたような基板11表面(実際には、ドーピング領域14表面)に形成される微小欠陥による微小空隙の共振波長とよく合う場合に増幅されうる。したがって、製作工程により微小空隙の大きさを調節すれば、本発明に係るシリコン光素子を用いて、非常に短波長から長波長領域(特に、ultra violet (UV)~infrared (IR))までの発光素子が得られる。

【0033】ここで、微小空隙は変形されたポテンシャルによって生じる。したがって、微小空隙を調節すれば特定波長、または広い波長帯域が得られる。前述したように本発明に係るシリコン光素子を発光素子として使用する時、広い波長帯域の発光特性が得られ、外部量子効率(EQE)も、例えば、約60%と非常に高い。

【0034】一方、本発明に係るシリコン光素子が発光素子として使われる時、極端に浅いp-n接合部位内の量子ウェルから生じる光は四方に発散される。本発明に

係るシリコン光素子が発光素子として使われる時、可視光領域の光のうち表面に垂直に表面側に進行する光は主に表面に形成された微細欠陥を通じて外部に放出されるが、他の方向に進行する光は内部の発光部周囲、特に、基板11で大部分吸収され、発光効率にほとんど寄与できない。

【0035】これは基板11をなすシリコンが可視領域に対する吸収率が高いからである。可視光領域でシリコンの吸収係数 α は約3000/cm~50000/cmであり、400~650nm領域でシリコンの吸収係数 α は約5000/cm~30000/cmである。したがって、吸収係数 α を20000/cmと仮定し、強度 I_0 の光がシリコン物質内で距離 x だけ進行した時の光度は数学式1のようである。

【0036】

【数1】

$$I = I_0 e^{(-\alpha x)}$$

数学式1を用いれば、光が20nm進行した時、光の吸収率は1%よりはるかに小さい。したがって、ドーピング領域15の厚さが20~30nmであることを考慮すれば、表面に垂直の方向に進行する光は99.9%以上放出される。しかし、他の方向に進行する時は進行距離がそれだけ長くなるために相当量が基板11に吸収される。

【0037】表面に垂直でない方向に進行する光の吸収を減らして発光効率をさらに高めるための本発明に係るシリコン光素子の実施例が図6に開示されている。図7は図6に示されたドーピング領域15の一部を抜粋して示す平面図である。図6において、図3と同一な符号は実質的に同一な機能をする同一部材を示すので、その詳細な説明は略す。

【0038】図6及び図7を参照すれば、本実施例に係るシリコン光素子は、内部で吸収される光の一部を外部に出力させて発光された光の出力効率を向上できるように、ドーピング領域15にその表面から形成された微細なホール25を備える。このホール25はp-n接合部位14の光が発光される領域下部まで延長形成されたことが望ましい。

【0039】前記ホール25の空間は、空気で充填されるか、特定波長の光を吸収しない物質で充填される。ここで、前記ホール25は特定波長の光を増幅させる役割をするように、前記特定波長を λ とする時、 $\lambda/(2n)$ またはその整数倍の大きさにも形成される。この際、前記 n は前記特定波長での孔に充填された物質（または空気媒質）の有効屈折率である。

【0040】前述したようにドーピング領域15にホール25が形成された構造のシリコン光素子では、表面に垂直でない方向に発散される光の一部も前記ホール25の構造により出力可能なので発光効率が高まる。また、

前記ホール25を特定波長に対して前記条件を満たす大きさに形成すれば、増幅効果までも期待しうる。前述したように、本発明に係るシリコン光素子は発光素子として機能を行うために、本発明に係るシリコン光素子はディスプレイシステムまたは照明システムなどの発光デバイス装置に適用される。この際、前記発光デバイス装置は本発明に係る光素子を少なくとも1つ以上備える。

【0041】本発明に係るシリコン光素子を適用した発光デバイス装置がディスプレイシステムである場合、前記発光デバイス装置は、例えば、図8及び図9に示されたように本発明に係るシリコン光素子を2次元に配列して形成される。本発明に係る光素子は半導体物質を用いて半導体製造工程を通じて超小型に形成されるので、これをディスプレイシステム、特に薄型固体状ディスプレイに応用可能なのは明白である。

【0042】図8は各画素51に、例えば赤色光(R)、緑色光(G)、青色光(B)を各々出射するように形成された3つの特定色光用シリコン光素子55a、55b、55cが位置するように本発明に係るシリコン光素子の2次元配列50を形成し、カラーフィルター無しにR、G、Bフルカラーを具現できる発光デバイス装置を示す。図8に示された発光デバイス装置により鮮明なカラー具現のためにカラーフィルターを付加できることはもちろんである。図9は、白色光を出射するように形成された白色光用のシリコン光素子75を用いてシリコン光素子の2次元配列70を形成し、このシリコン光素子の2次元配列70の全面に波長選択カラーフィルター80を備えてフルカラーを具現できる発光デバイス装置を示す。この際、各画素71には白色光を出射する3つの本発明に係るシリコン光素子75が前記カラーフィルター80のR、G、B要素に対応して配置されることが望ましい。この際、カラーフィルター80のR、G、B要素の配置形状は図8に示されたシリコン光素子の2次元配列50と同一か、または類似している。

【0043】ここで、シリコン光素子の2次元配列50及び/またはカラーフィルター80のR、G、Bカラーを具現するための配置は多様に変形される。このような発光デバイス装置は、図3と同様に構成され、2次元配列で形成されたシリコン光素子は、第1及び第2電極を通じて電流を印加する時、ドーピング領域の基板とのp-n接合部位で電子と正孔対の消滅結合により発光が起こり、照明システムやディスプレイシステム等の発光デバイス装置として使われる。本発明に係る発光素子を適用した発光デバイス装置が照明システムである場合、前記発光デバイス装置は照明システムの用途及び照度要求に対応して少なくとも1つ以上の本発明に係るシリコン光素子よりなる。

【0044】前述したような本発明に係るシリコン光素

子を適用した発光デバイス装置の構造は以上の説明を通じて十分に類推可能なので、より詳細な説明及び図示は略す。一方、前述したように、本発明に係るシリコン光素子は発光素子だけでなく受光素子としても使用しうる。これは本発明に係るシリコン光素子に光が照射されれば、発光素子として機能をする時とは反対に、ドーピング領域15を通じて入射された光によりエネルギーを得た電子と正孔とが電流を生成して照射された光量に比例する電流信号が生じるからである。

【0045】このような本発明に係るシリコン光素子は垂直方向に電圧を与えたり、水平方向に電圧を与えると、 $p-n$ 接合部位14に形成された量子ウェル内のサブエネルギーバンド間のエネルギー差を十分に大きくできるために、紫外線検出器として使用できる。ここで、図3に示されたシリコン光素子は第2電極19が基板11の底面に形成され、第1及び第2電極17、19を通じて垂直方向に電圧を印加する構造である。図10に示されたシリコン光素子は、図3とは違って、基板11の底面に第2電極を形成する代わりに、第1及び第2電極17、19を共にドーピング領域15の形成面側に形成し、水平方向に電圧を印加する構造である。図10において、図3と同一な参照符号は同一または類似した機能をする同一部材を示すので、その詳細な説明は略す。

【0046】紫外線は波長が400nmから1nm(1keV)までの電磁気波を称し、波長300nm以上を近紫外、波長200nm以下を真空紫外と称する。このような紫外線の検出に用いられる通常の検出器は次の通りである。近紫外線や波長100nmまでの光検出時には可視光に使われる検出器、すなわち、フォトダイオードや光電管、光電子増配管を紫外線用として改造して使用する。X線領域に近い波長に対しては放射線検出器が使われる。

【0047】近紫外線検出器としては、シリコンフォトダイオードが使われる。シリコンは入射光の波長が短いほど吸収が大きいので、紫外線は検出器の表面近傍でのみ吸収される。したがって、紫外線検出器では感度を高めるために接合を減らす必要がある。ここで、シリコン検出器は通常200~1100nm領域で感度を有する。

【0048】一般のドーピングによりドーピング領域が形成された通常の検出器で、光は p^+ (または n^+)ドーピング層で吸収散乱されてしまうので、垂直方向の電極に引出されて応答に寄与する電子正孔対として形成できない。また、ドーピング領域が形成された通常の検出器は、量子効果なしに、ドーピング層下の空乏層領域で吸収された光のみが電流信号として検出される間接バンドギャップ構造であって、このような間接バンドギャップにより感度が落ちて紫外線検出効率が劣る。

【0049】一方、本発明に係るシリコン光素子の極端に浅いドーピング領域15は外部電圧と電荷分布ポテン

シャルの局所的な変化によって量子効果が生じ、外部電圧を印加することによって量子ウェル内には図11に示されたようにサブエネルギーバンドが形成され、高エネルギーの紫外線を吸収できるほど広いエネルギーバンドギャップを有し、吸収係数のスペクトルが変更されて紫外線を効率よく感知しうる。図11において、31は量子ウェル、33はサブエネルギーバンドを示す。 e は電子、 h はホール、 p は光子である。また、図11において、 E_v は価電子帯エネルギー準位、 E_c は伝導帯エネルギー準位を示す。

【0050】前述したような極端に浅いドーピング領域15を有する本発明に係るシリコン光素子は200~1100nm領域で優秀な感度を示す。また、量子ウェル内のサブバンドのギャップがシリコンでのバンドギャップより大きいので、200nm以下の非常に短波長の紫外線も検出できる。一方、紫外線検出器で問題となる点は、紫外線は大部分の物質に対して不透明であるという点である。通常、シリコン光素子は透明窓を通じて光が進退されるようにパッケージングされるが、透明窓を形成するために用いられるガラス(SiO_2)は波長が150nm以上の紫外線のみを透過させる。

【0051】したがって、本発明に係るシリコン光素子を紫外線検出器として使用するには、露出されたウィンドウ(bared window)、すなわち、光の入射方向にガラス材質のウィンドウがない構造よりなつて、150nm以下波長の紫外線も検出可能になったことが望ましい。

【0052】

【発明の効果】前述したように本発明に係るシリコン光素子は、効率が優秀で、発光素子及び受光素子のうち少なくとも何れか1つの素子として使用でき、かつシリコンに基づくためにコストダウンとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 バルク型の単結晶シリコン表面に形成された多孔性シリコン領域の断面及びその多孔性シリコン領域での価電子帯と伝導帯との間のエネルギーバンドギャップを示す図面である。

【図2】 ナノクリスタルシリコンを用いた発光素子の一例を概略的に示す断面図である。

【図3】 本発明に係るシリコン光素子を概略的に示す断面図である。

【図4A】 ドーピング領域を非平衡拡散により極端に浅く形成する時、 $p-n$ 接合部位の構造を概略的に示す図面である。

【図4B】 非平衡拡散により図4Aに示された $p-n$ 接合部位に、表面の長手方向、側方向に形成される量子ウェルのエネルギーバンドを示す図面である。

【図5】 基板面に形成される微小空隙を示す図面である。

【図6】 表面に垂直でない方向に進行する光の吸収を

減らして発光効率をさらに高めるための本発明に係るシリコン光素子の実施例を概略的に示す断面図である。

【図7】 図6に示されたドーピング領域の一部分を抜粋して示す平面図である。

【図8】 本発明に係るシリコン光素子を適用した発光デバイス装置の一実施例を概略的に示す平面図である。

【図9】 本発明に係るシリコン光素子を適用した発光デバイス装置の他の実施例を概略的に示す平面図である。

【図10】 受光素子として使われる時の本発明に係る

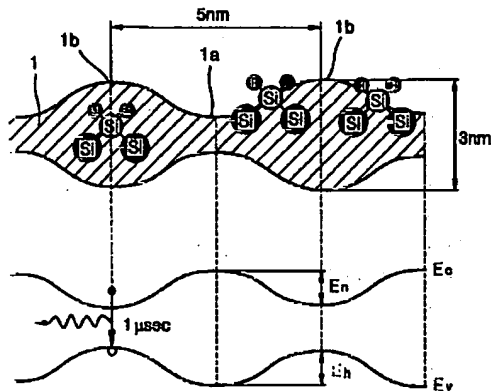
シリコン光素子の他の実施例を概略的に示す図面である。

【図11】 本発明に係るシリコン光素子が紫外線検出器として使われる時、量子ウェル内のエネルギーバンドで紫外線が感知される原理を示す図面である。

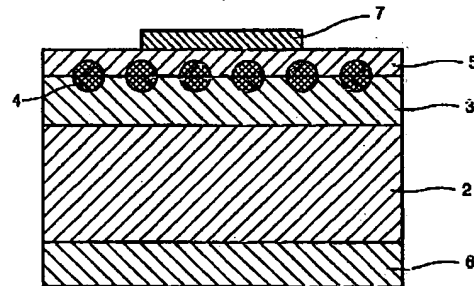
【符号の説明】

- 11 基板
- 13 制御膜
- 15 ドーピング領域

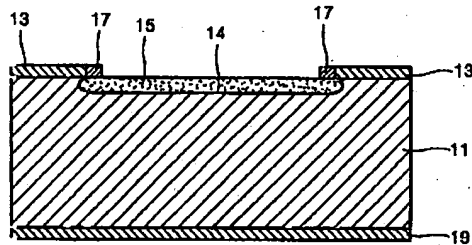
【図1】



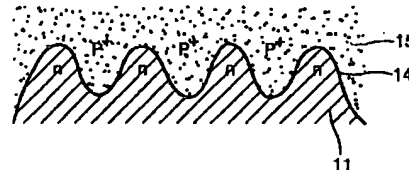
【図2】



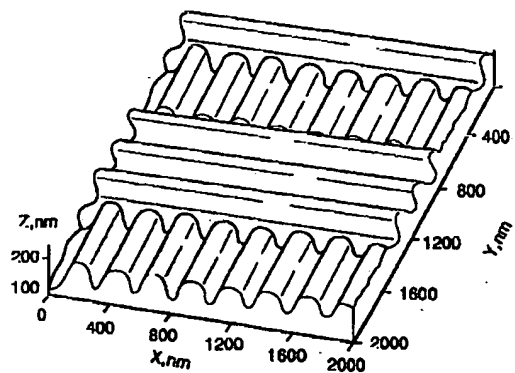
【図3】



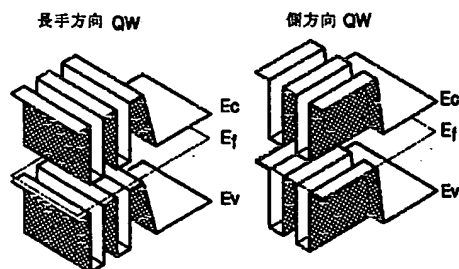
【図4A】



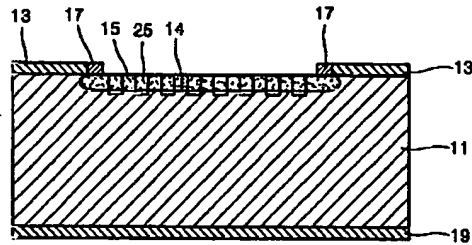
【図5】



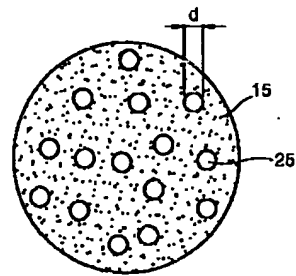
【図4B】



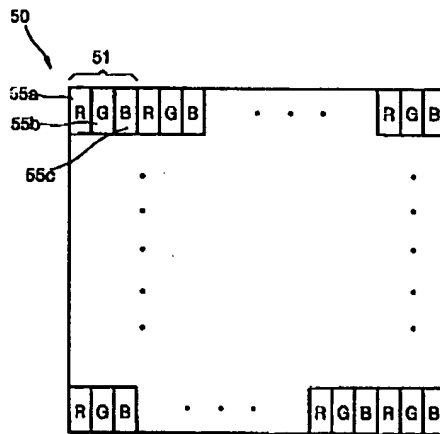
【図6】



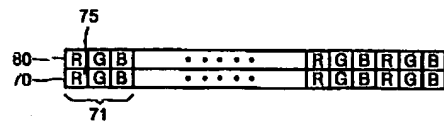
【図7】



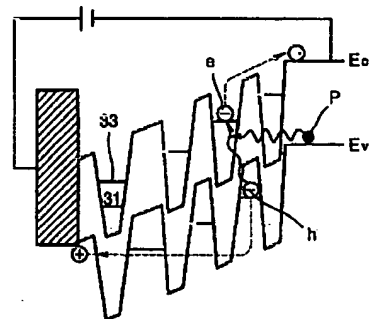
【図8】



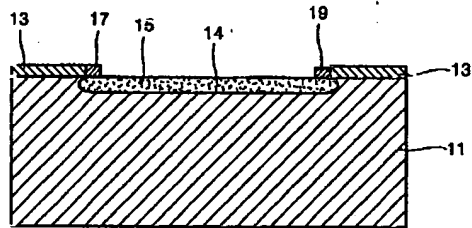
【図9】



【図11】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 李 銀 京
大韓民国京畿道水原市八達区梅灘4洞810
-3番地三星1次アパート3棟1205号
(72)発明者 劉 在 鎬
大韓民国ソウル永登浦区大林3洞762-1
番地宇成アパート2棟1405号

(72)発明者 金 俊 永
大韓民国京畿道軍浦市堂洞907番地斗山ア
パート103棟302号
Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA10 CA33
5F049 MA02 MA20 MB03 PA09 QA16